

鑄鉄溶湯から取り除きやすい脱マンガンスラグの開発*

高川 貫仁**、池 浩之**、岩清水 康二**、瀬川 晃児**

酸化鉄添加による鑄鉄溶湯の脱マンガ処理において、発生するスラグの除去を容易にするため、シリカおよびアルミナ添加の効果を検討した。得られた結果は次のとおりである。

- 1) SiO_2 を 1.6mass% 添加することによりスラグは団子状に固まり、スラグを鉄棒で除去することができた。
- 2) SiO_2 を添加した場合、脱Mn率および脱Si率が低下したため、スラグの SiO_2 濃度は上がりづらかった。
- 3) Al_2O_3 を 1.0mass% 添加することによりスラグの粘度は上がり、スラグを除去することができた。

キーワード：脱マンガ、鑄鉄、スラグ、酸化鉄、鉄スクラップ

Development of the Manganese Removal Slag to Easily Remove from Molten Cast Iron

TAKAGAWA Takahito, IKE Hiroyuki, IWASHIMIZU Kouji and SEGAWA kouji

In the manganese removal from molten cast iron by means of FeO addition, the effect of SiO_2 and Al_2O_3 addition on the easiness of removal of slag was examined. The following results have been obtained;

- 1) The slag was formed like the dumpling by addition of SiO_2 of 1.6mass%, and the slag was removed by an iron bar.
- 2) In addition of SiO_2 , the concentration of SiO_2 in slag did not readily increase by decrease of silicon and manganese oxidation.
- 3) The viscosity of slag was raised by addition of Al_2O_3 of 1.0mass%, and the slag was removed.

key words : manganese removal, cast iron, slag, iron oxide, steel scrap

1 緒 言

近年、鋼材の高強度化に伴い、鉄スクラップ中のマンガ含有量が高くなってきている。マンガは鑄鉄を硬くもろくする。銑鉄鑄物製造メーカーは、マンガ含有量が高い鉄スクラップを用いて柔軟性のある銑鉄鑄物を製造しなければならない状況にある。

この状況を解決するために、著者らは、酸化鉄(FeO)添加による鑄鉄溶湯の脱マンガ処理について平成 15 年度から取り組んできた^{1), 2)}。すなわち、溶解量 5kg の小規模実験で、以下の結果を報告した。

- ①鑄鉄溶湯中のマンガ含有量は、試薬酸化鉄を 4% 添加することにより、1.0% から 0.4% まで下がった(脱マンガ処理前のシリコン含有量は 1.0%)。
- ②試薬酸化鉄の代替として、県内で廃棄される酸化鉄(鋼材酸化皮膜)も有効であった。

③鑄鉄溶湯中の酸素含有量は、酸化鉄を添加することにより増加したが、フェロシリコン(Fe-Si 合金)を添加することにより、脱マンガ処理前のレベルに戻った。

④脱マンガ処理後に、球化处理を行い、JIS-FCD450 の材質を得ることができた。

これらの結果を元に、100kg の高周波誘導炉を用いて工場実験を行ったところ、小規模実験と同様の結果が得られた。

しかし、酸化鉄添加により生成するスラグ(主な成分は、酸化マンガや酸化鉄、シリカ)は粘度が低く、除滓に時間がかかることが分かった。

一般的な除滓は、「除滓剤を適量湯面に撒きスラグと絡め、これを鉄の棒に絡めて炉外に出す」という方法で行われる。除滓剤は、鑄鉄湯面に撒かれると熱により発泡し、その高い粘度によりスラグと絡まる。そのため、通常操業のよう

* JST サテライト岩手実用化のための可能性試験、日本鑄造工学会若手研究奨励基金

** 材料技術部

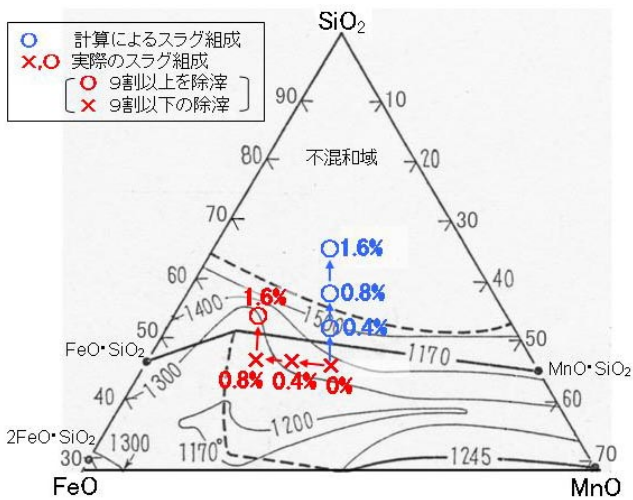


図1 SiO₂を添加したときの除滓性評価結果及び生成スラグ組成 (FeO 添加量 4.0mass%)

な僅かな滓を取り除くには短時間で済むが、本脱マンガン処理のようにスラグが発生する場合には、何度も除滓剤を添加する必要がある、除滓に時間がかかる。

そこで、スラグ自体の粘度を高くした方が除滓に優位であると考えた。

本研究では、生成するスラグの粘度を変える方法として、工場で入手しやすいシリカ (SiO₂) やアルミナ (Al₂O₃) を溶湯に添加し、その除滓性について検討した。

2 実験方法

試験用の铸铁溶湯は、化学組成が 4.0%C-1.0%Si-1.0%Mn になるように鉄鉄、電解鉄、フェロマンガン (Fe-Mn 合金) および黒鉛粒を配合し、高周波誘導炉にて溶解し作製した。铸铁溶解量は 3kg とし、ルツボには黒鉛ルツボを用いた。

铸铁溶湯溶解後、元湯の分析試料を採取し、再度加熱した。溶湯温度が 1450℃ に達した後、試薬酸化鉄 (FeO) を 4.0mass% と同時に試薬シリカ (SiO₂) 及び試薬アルミナ (Al₂O₃) を所定量添加し、脱マンガン処理を行った。その後、生成したスラグについて、除滓性の評価を行った。

除滓性の評価方法は、直径 15mm の鉄棒の先にスラグを絡ませて、全量を炉外に取り出せれば「◎」、9割以上取り出せれば「○」、取り出せなければ「×」という、3基準による判定とした。

除滓性評価後、脱マンガン処理後の铸铁の分析試料を採取し、固体発光分光分析装置により諸元素の定量分析を行った。また、鉄棒で除去したスラグ及びルツボに残ったスラグについては、鉄乳鉢で粉末

状にした後、圧縮試験機により圧粉体を成形し、波長分散型蛍光 X 線分析装置にて簡易定量分析を行った。

3 実験結果

3-1 シリカ (SiO₂) 添加の効果

除滓性に及ぼす SiO₂ の効果について、SiO₂ を 0, 0.4, 0.8, 1.6mass% の 4 レベルに変化させて調べた。図 1 は、スラグの取り除き易さについての評価結果ならびに生成したスラグ組成を、SiO₂-FeO-MnO 系状態図にプロットした図である。青で示したプロットは、「計算によるスラグ組成」であり、これは、FeO を 4.0mass% 添加したときのスラグ組成結果に、単純に所定量の SiO₂ を足したときのスラグ計算値である。その結果、SiO₂ の濃度は、SiO₂ 添加量 0.8mass% までは約 50mass% で一定値を示し、SiO₂ 添加量 1.6mass% でようやく増加した。次に、SiO₂ 添加量 0.8mass% と 1.6mass% のときの除滓の様子を図 2 に示す。スラグは、SiO₂ 添加量 0.8mass% までは、鉄棒に若干付着するだけで絡まなかった。SiO₂ 添加量 1.6mass% では、スラグは鉄棒には絡まないが、団子状の固



a) SiO₂ 添加量 0.8mass%



b) SiO₂ 添加量 1.6mass%

図2 SiO₂を添加したスラグの鉄棒による除滓の様子 (FeO 添加量 4mass%)

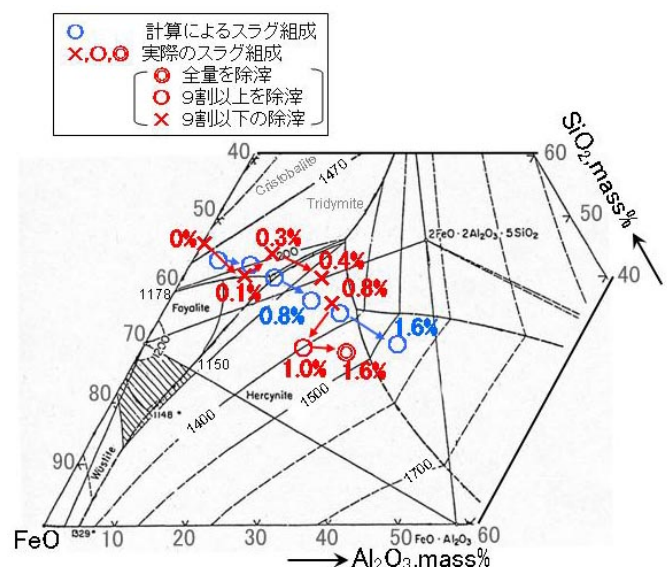


図3 Al₂O₃を添加したときの除滓性評価結果及び生成スラグ組成 (FeO 添加量 4.0mass%)

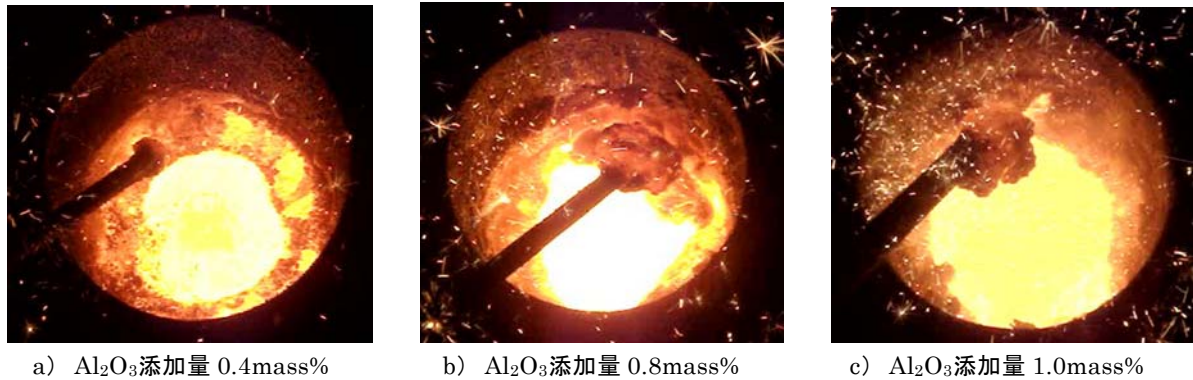


図4 Al_2O_3 を添加したスラグの鉄棒による除滓の様子(FeO 添加量 4.0mass%)

まりを形成するようになった。そのため、大きな固まりのスラグを鉄棒に乗せて除去することにより、スラグのほぼ全量を除去することが出来た。ただし、細かいスラグは、小さく粘度も低いため、鉄棒では除去できなかった。

3-2 アルミナ (Al_2O_3) 添加の影響

除滓性に及ぼす Al_2O_3 の効果について、 Al_2O_3 を0.1, 0.3, 0.4, 0.8, 1.0, 1.6mass%の6レベルに変化させて調べた。図3は、スラグの取り除き易さについての評価結果ならびに生成したスラグ組成を、 SiO_2 - FeO - Al_2O_3 系状態図にプロットした図である。本来は FeO - MnO - SiO_2 - Al_2O_3 系状態図で示すべきであるが、この4元系状態図がないため、($\text{FeO}+\text{MnO}$)を便宜上 FeO として図に示した。図中、青で示したプロットは、「計算によるスラグ組成」であり、これは、 FeO を4.0mass%添加したときのスラグ組成結果に、単純に所定量の Al_2O_3 を足したときのスラグ計算値である。その結果、 Al_2O_3 の濃度は、 Al_2O_3 添加量の増加に伴い、ほぼ予想組成どおり上がっていった。 Al_2O_3 の1.6mass%添加で、 Al_2O_3 の濃度は約30mass%になり、スラグの組成は高融点域にシフトした。次に、 Al_2O_3 添加量0.4mass%、0.8mass%及び1.6mass%のときの除滓の様子を図4に示す。スラグは、 Al_2O_3 添加量0.4mass%までは、鉄棒に若干付着するだけで絡まなかった。 Al_2O_3 添加量0.8mass%では、粘度が上がり、鉄棒に若干絡むようになった。 Al_2O_3 添加量1.0mass%では、さらに粘度が増した。そのため、スラグのほぼ全量を除去することが出来た。ただし、若干のスラグは、ルツボの内壁にねっとりと付着し、除去できなかった。図には示さないが、 Al_2O_3 添加量1.6mass%では、スラグは粘度を保ちながら固まりを形成した。そのため、細かいスラグも、スラグ表面の粘度が高いために鉄棒に絡み、スラグの全てを除去することが出来た。

4 考 察

SiO_2 添加の実験において、予想では、スラグ組成は、 SiO_2 を0.8mass%以上添加することにより SiO_2 不混和域に

入り、これによりスラグの粘度は上がり、スラグは除去しやすくなると考えたが、実際は、スラグ中の SiO_2 濃度はなかなか上昇せず、 SiO_2 を1.6mass%以上添加しても SiO_2 不混和域までは動かなかった。図5に脱Si率及び脱Mn率に及ぼす SiO_2 及び Al_2O_3 添加量の影響を示す。図より、 SiO_2 を添加した場合、0.4mass%添加しただけで脱Mn率および脱Si率が大きく低下した。これより、 SiO_2 を添加すると、溶湯中のSiと FeO の反応により生じる SiO_2 の生成量は減少し、結果的にスラグの SiO_2 の濃度が上がりづらくなるということが分かった。

次に、 Al_2O_3 添加の実験において、スラグの Al_2O_3 濃度は、 Al_2O_3 の添加量の増加に伴い上昇し、スラグ組成は計算どおり高融点側にシフトした。これは、図6に示すとおり、 SiO_2 を添加したときとは違い、 Al_2O_3 添加量0.8mass%までは、脱Mn率および脱Si率は5%以内の低下で留

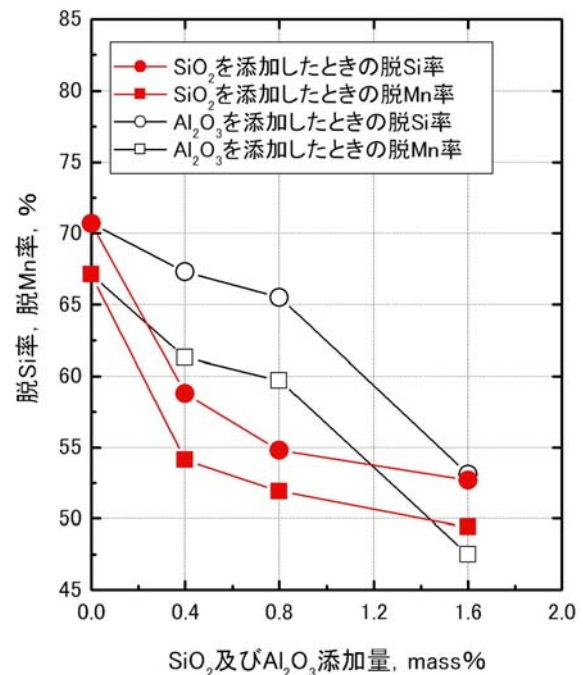


図5 脱Si率及び脱Mn率に及ぼす SiO_2 及び Al_2O_3 添加量の影響(FeO 添加量 4.0mass%)

まり、それほど大きく低下しなかったことが要因と考えられた。

今回の検討により、FeOと同時にSiO₂を1.6mass%又はAl₂O₃を1.0mass%以上添加することにより、スラグを鉄棒で取り除くことが出来た。ただし、添加量は1.0mass%以上必要であり、この量は除滓剤を使用した場合の除滓剤添加量と同等量である。そのため、本方法を除滓剤添加による除滓方法と比較した場合、①発泡しない分みかけの体積が小さいので、スラグ処理コストが安くなる。②ムライトサンドや珪砂を使用している鑄造工場においては、Al₂O₃やSiO₂の代わりに使用済み鑄物砂なども有用であると考えられ、除滓剤コストがかからない。という長所がある一方、脱Mn率は低下するという短所を合わせもつ結果となった。

ただし、SiO₂の添加については、今後、添加するタイミングを変えて検討する必要がある。今回は、FeOと同時に添加したため、脱Si率および脱Mn率が低下し、これによりSiO₂の濃度も上がらないという悪循環になってしまったが、FeOを添加して脱マンガン反応後にSiO₂を添加することにより、図2の青プロットのような組成に変化させられる可能性がある。図2によれば、スラグ組成は、SiO₂を0.4mass%添加することにより、融点1500℃の高融点域に入る。この通りに行けば、脱Si率および脱Mn率を保ったまま、スラグの除去も容易になると考えられる。

また、酸化鉄添加による脱マンガンスラグの除去には、鉄棒に絡めて採る方法以外の方法も検討する必要があると考えられた。

5 結 言

酸化鉄添加による鑄鉄溶湯の脱マンガン処理において、

発生するスラグの除去を容易にするため、シリカおよびアルミナ添加の効果を検討した。得られた結果は次のとおりである。

- 1) SiO₂を1.6mass%添加することによりスラグは固まりを形成し、スラグを除去することができた。
- 2) SiO₂を添加した場合、脱Mn率および脱Si率が大きく低下し、結果的にスラグのSiO₂濃度を上げるには予想以上の添加が必要であった。
- 3) Al₂O₃を1.0mass%以上添加することによりスラグの粘度は上がり、ほぼ全てのスラグを除去することができた。
- 4) Al₂O₃を添加した場合、0.8mass%までは脱Mn率および脱Si率は大きく低下しなかったため、SiO₂に比較して少量のAl₂O₃添加でスラグ中のAl₂O₃濃度は上昇した。

本研究を遂行するにあたり、御助言をいただいた室蘭工業大学 片山博名誉教授、福島製鋼(株)研究開発部 佐藤一広副部長および高橋直之氏、北芝電機(株)マトロシステム部 田中宏憲氏、(財)いわて産業振興センター 勝負澤善行氏に深く感謝いたします。また、鋼材酸化皮膜をご提供いただいた東京製鋼スチールコード(株)様に深く感謝いたします。

なお、本研究に使用した高周波溶解炉は、日本自転車振興会の補助金により導入したものです。

文 献

- 1) 岩手県工業技術センター研究報告, 11 (2004) 132
- 2) 岩手県工業技術センター研究報告, 12 (2005) 87